# Поле атмосфериков на фоне сейсмической активности при различной геофизической обстановке (экспериментальные данные)

#### Алексей Галахов

В статье приводятся экспериментальные данные АЧХ поля атмосфериков (п. а.), зарегистрированных на авроральных обсерваториях ПГИ Ловозеро (Мурманская обл.) и Баренцбург (арх. Шпицберген), и характеристики явлений, включая сейсмические данные, которые характеризуют геофизическую активность: солнечные вспышки X-Ray Flux (GOES), магнитограммы магнитного поля Земли, показания нейтронного монитора (космические лучи) и сейсмические данные норвежской сети NORSAR.

В качестве приёмно-регистрирующей аппаратуры поля атмосфериков на обсерваториях использовался приёмник ОНЧ-диапазона (400÷7500 Гц) с рамочной антенной на входе и последовательный анализатор спектра. Используемая аппаратура была разработана в ПГИ на основе программируемых аналоговых (AN221E04) и цифровых (PIC18F452) интегральных микросхем, что дало возможность получать высокую точность обработки аналоговых сигналов (не хуже 1%) и позволило сопоставлять результаты регистрации, выполненные в разных точках наблюдений, с численным моделированием процессов в нижней ионосфере Земли.

Представленная работа, основанная на архивных экспериментальных данных, полученных на двух авроральных обсерваториях ПГИ Баренцбург, Ловозеро и норвежской сейсмической сети NORSAR, является продолжением серии статей, посвящённых изучению влияния гелиогеофизических факторов на амплитудно-частотные характеристики электромагнитного поля атмосфериков.

Поле атмосфериков – это сигнал, формируемый спектром излучаемых молнией электромагнитных волн, который имеет интерференционный характер, обусловленный суперпозицией прямой волны, распространяющейся вдоль поверхности Земли, и волн, отражённых от ионосферы. Многие авторы рассматривают данный грозовой генератор, который действует за счёт молниевой активности, как основной источник естественного шумового электромагнитного поля в широком диапазоне частот [1].

Использование в экспериментальных исследованиях низкочастотных электромагнитных колебаний – атмосфериков, объясняется наличием непрерывного спектра излучения и способностью распространяться в волноводе Земля – ионосфера на большие расстояния с малым затуханием.

Спектральные характеристики поля атмосфериков (п. а.) позволяют полу-

чать информацию как о свойствах распространения радиоволн, входящих в их спектр, так и о свойствах среды распространения сигнала, какой является волновод Земля – ионосфера [2, 3].

Если в предыдущих работах [8–15] были представлены экспериментальные данные, подтверждающие широтную зависимость влияния таких факторов, как солнечная активность (корональные выбросы, широкополосное электромагнитное излучение), галактические космические лучи, вариации магнитного поля Земли на АЧХ п. а., то в этой статье перечисленные выше геофизические факторы дополнены данными сейсмической активности областей, входящих в зону регистрации поля атмосфериков.

Рассмотрено поведение спектральных составляющих атмосфериков для трёх случаев, отличающихся друг от друга как геофизической, так и сейсмической активностью:

1) обс. ПГИ Баренцбург (2023.02.03);

- 2) обс. ПГИ Баренцбург (2023.02.05-
- 3) синхронная запись на двух обс. ПГИ: Баренцбург и Ловозеро (2021.12.23–2021.12.24).
- В работе использованы архивные данные:
- a) X-Ray Flux геостационарного спутника GOES;

- б) магнитограммы магнитного поля Земли [обс. Sodankyla (67° 22′N, 26° 38′E), обс. Longvearbyen (78° 12′N, 15° 32′E)];
- в) показания нейтронного монитора [Апатиты ПГИ (67.57°N, 14.22°E), обс. ПГИ Баренцбург (78.06°N, 14.22°E)];
- г) магнитуда и координаты землетрясений (норвежская сеть NORSAR, https:// www.norsar.no/extranet/bulletins/).

Для оценки пространственной избирательности поля атмосфериков приём сигнала осуществлялся с ортогональных направлений Нх-Ну на магнитные рамочные антенны [4, 5], в качестве регистратора сигнала использовался последовательный анализатор спектра ОНЧ-диапазона (400÷3600 Гц) [6, 7].

Светлый оттенок участков приведённых графиков АЧХ п. а. (рис. 1г–д, рис. 2, рис. 3д–е) отображает отрезок времени, когда область наблюдений освещена Солнцем.

Активность Солнца определялась по данным геостационарного спутника (GOES) X-Ray Flux, которые являются хорошим индикатором как мощности вспышки, так и того, что солнечная вспышка двигается по направлению к Земле.

Пространственный сектор очагов землетрясений (latitude, longitude) задан в архивных данных сети NORSAR относительно координат точек приёма поля атмосфериков, увеличенный на ±15°, и магнитудой >1.26. Для более наглядного представления на рисунках («quakes0–2») и таблицах 1–4 для координат расположения очагов землетрясений использованы цветовые оттенки: от тёмно-красных до светло-красных.

Заданные координаты очагов землетрясений относительно точек наблюдения поля атмосфериков (https://www.norsar.no/extranet/bulletins/):

- а) для обс. ПГИ Ловозеро (67,97°N, 35,08°E):
- широта (0÷90)°N, долгота (20÷50)°E светло-красный оттенок («quakes2»);
- широта (0÷90)°N, долгота (25÷45)°E красный («quakes1»);
- широта (63÷73)°N, долгота (25÷45)°E тёмно-красный оттенок («quakes0»);
   б) для обс. ПГИ Баренцбург (78,08°N, 14.2°E):
- широта (0÷90)°N, долгота (0÷30)°E светло-красный оттенок («quakes2»);

40

- широта (0÷90)°N, долгота (5÷25)°E красный («quakes1»);
- широта (68÷88)°N, долгота (5÷25)°E тёмно-красный оттенок («quakes0»).

#### Экспериментальные данные 1. Обс. ПГИ Баренцбург 2023.02.03

Обращает на себя внимание ионосферное возмущение, индикатором которого являются вариации АЧХ поля атмосфериков магнитной компоненты Нх (рис. 1г) в течение временного интервала (2023.02.03, 06:00 - 2023.02.03, 09:00) при отсутствии активности геофизических факторов, влияющих на состояние волновода Земля - ионосфера (рис. 1а, б, в). Для исследования тонкой структуры спектра данное событие представлено на рис. 2 в другом временном масштабе, при этом следует отметить, что в указанный временной промежуток (2023.02.03, 07:30 - 2023.02.03, 15:30)область нижней ионосферы освещена Солнцем.

В рассматриваемом случае можно предположить, что ионосферное возмущение, индикатором которого является вариация АЧХ поля атмосфериков во временном интервале [23.02.03, 07:30 – 23.02.03, 08:50] (рис. 2), является предвестником серии землетрясений «quakes0» [2023.02.03 (08:50: 2.02–73/06 – 08:54: 3.6–84/14)] (табл. 1).

Частотный диапазон вариации поля атмосфериков охватывает диапазон поверхностных и пространственных волн 613÷2091 Гц.

По характеру воздействия на среду распространения поля атмосфериков (нижняя граница волновода Земля – ионосфера) результат можно представить как два последовательных этапа:

а) на среду распространения пространственных волн:  $\Delta F1 = 1350 \, \Gamma$ ц÷1945  $\Gamma$ ц во временном интервале:  $\Delta t1 = (2023.02.03, 07:30 - 2023.02.03, 08:14) = 44$  мин, характеризуется изменением резонансной частоты волновода в диапазоне частот  $\Delta F1 = 1350 \, \Gamma$ ц÷1945  $\Gamma$ ц с периодом:  $\Delta t \approx 4$  мин;

6) на среду распространения поверхностных и пространственных волн:  $\Delta F2 = 613 \div 2091$  Гц во временном интервале:  $\Delta t2 = (2023.02.03, 08:14 - 2023.02.03, 08:50) = 36$  мин, характеризуется режимом широкополосного режекторного фильтра.

Основные характеристики указанного фрагмента АЧХ п. а.:

- а) частотный диапазон:  $\Delta F = 613 \div 2091 \, \Gamma \text{ц};$
- б) длительность ионосферного возмущения:

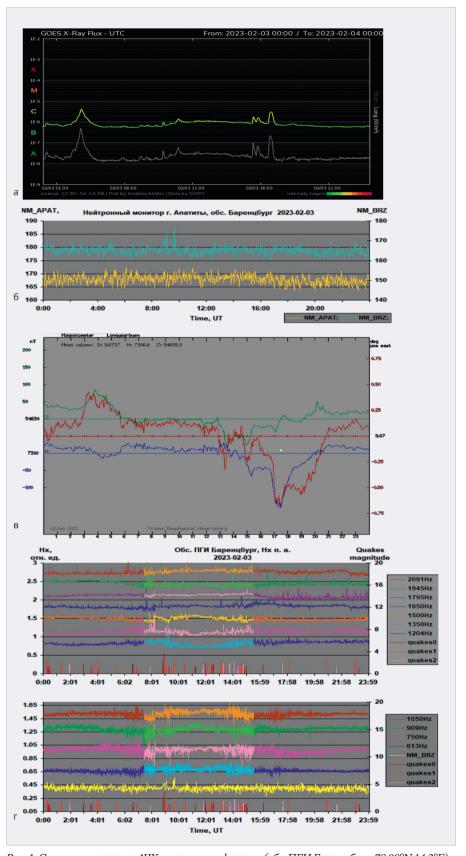


Рис. 1. Синхронная запись АЧХ поля атмосфериков (обс. ПГИ Баренцбург, 78.08°N,14.2°E) и гелиогеофизических факторов (2023-02-03): а) характеристика солнечной активности X-Ray Flux (GOES) (https://plot.polarlichtvorhersage.de/goes/2023-02-03\_000000\_2023-02-04\_000000.png); б) вариации космических лучей, нейтронный монитор [г. Апатиты (67.57°N, 33.39°E), обс. ПГИ Баренцбург (78.06°N, 14.22°E)] (http://pgia.ru/cosmicray); в) магнитограмма магнитного поля Земли [обс. Longyearbyen (78° 12'N, 15° 32'E)] (http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/plotgeodata.cgi?/); г) синхронная запись АЧХ Нх-компоненты п. а., нейтронного монитора NM (BRZ) и сейсмической активности «quakes0-2» (https://www.norsar.no/extranet/bulletins/)

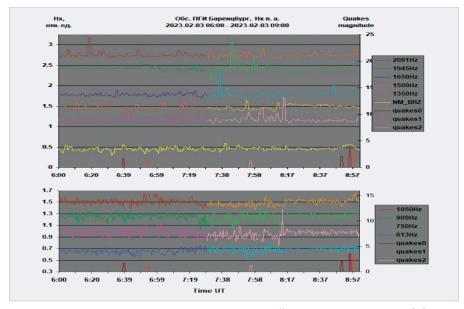


Рис. 2. Синхронная запись АЧХ Нх-компоненты п.а., нейтронного монитора NM (обс. ПГИ Баренцбург) и сейсмической активности «quakes0-2» (2023-02-03, 06:00 – 2023-02-03, 09:00).

Таблица 1. Время и координаты очагов землетрясений: «quakes0-2» (время – магнитуда – широта/долгота, обс. ПГИ Баренцбург 2023.02.03)

00:17 - 2,4 - 59/06	00:21 - 1,2 - 68/21	00:23 - 1.33 - 64/06	00:25 - 1.36 - 68/21
00:27 - 1,3 - 80/11	01:20 – 1,79 – 67/22	01:57 - 1.73 - 59/29	02:59 - 1.72 - 80/08
03:33 - 1,27 - 80/17	03:45 - 1,53 - 67/22	,	
04:10 - 1,43 - 67/13	05:27 - 1.5 - 67/21	04:02 - 2,09 - 67/21	04:09 - 1,31 - 78/11
07:55 - 1.27 - 59/27	08:50 - 2.02 - 73/06	06:39 – 1,76 – 71/10	06:54 – 1,38 – 67/20
08:58 - 1.62 - 57/16	09:04 - 1.28 - 60/23	08:54 - 3,6 - 84/14	08:57 - 3,28 - 49/21
	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	09:10 - 1,41 - 64/24	09:18 - 1,27 - 77/18
09:38 – 1,63 – 57/16;	09:45 - 2,43 - 64/14	10:28 - 1,78 - 61/05	11:14 - 1,25 - 78/08
11:49 – 1,67 – 67/30	11:57 - 1,87 - 69/08	12:07 – 1.39 – 59/16	12:14 - 1.54 - 58/14
12:26 - 1,34 - 80/09	12:29 - 1,7 - 57/19		
13:07 - 1,96 - 53/20	13:13 - 1,7 - 67/20	12:30 – 1,54 – 59/16	12:33 – 1,6 – 77/09
13:46 - 1.76 - 61/30	14:06 - 2.2 - 59/29	13:18 - 1,90 - 60/30	13;25 – 1,51 – 58/16
14:38 – 1.57 – 67/03	14:41 – 1.5 – 57/12	14:23 – 1,41 – 70/27	14:25 - 1,29 - 61/17
	,	14:46 - 1,59 - 61/30	14:51 – 1,23 – 77/16
15:01 – 1,41 – 71/07	16:12 – 1,59 – 80/25	17:37 – 1,86 – 67/29	17:38 - 1,2 - 80/3.6
18:01 – 1,95 – 67/20	20:51 – 2,2 – 57/25	21:36 - 1.24 - 84/30	22:59 - 1.9 - 65/20
23:02 – 2,53 – 55/15	23:16 - 1,2 - 79/14	21.50 1,24 - 04/50	22.33 1,3 - 03/20

 $\Delta T_{\text{ИВ}} = \Delta t1 + \Delta t2 = [2023.02.03, 07:30 - 2023.02.03, 08:50] = 1$  час 20 мин;

в) время задержки между началом возмущения и серией землетрясений:  $\Delta T_{\rm 3AД} = \Delta T_{\rm MB} = [2023.02.03, 08:50 - 2023.02.03, 07:30] = 1$  час 20 мин.

#### 2. Обс. ПГИ Баренцбург (2023.02.05–2023.02.06) (табл. 2)

Рассматриваемый сеанс записи (рис. 3) характеризуется более высокой сейсмической активностью (магнитуда землетрясений  $\approx 5,8$  баллов) и импульсным характером поведения АЧХ поля атмосфериков (рис. 3д).

Обращает на себя внимание возмущение (2023.02.05, 22:38 – 2023.02.06, 01:29), начало которого характеризуется спокойными геофизическими условиями (Солнце, космические лучи, магнитное поле Земли), область регистрации поля не освещена Солнцем. Поэтому можно предположить, что фрагмент поведения

(рис. 4) АЧХ Нх п. а. (2023.02.05, 22:38 – 2023.02.06, 01:29) является следствием геофизического явления, связанного с последующей серией («quakes1») землетрясений [2023.02.06, (01:29: 5,3-49/20) – (01:31: 4,92-54/23)] (табл. 2).

Также следует отметить тот факт, что конец рассматриваемого фрагмента совпадает по времени и с моментом указанной серии землетрясений и с экстремальным значением магнитного поля Земли, одновременно зарегистрированного на двух разнесённых по широте обсерваториях: Longyearbyen и Sodankyla (рис. 4а, б).

Частотный диапазон вариации поля атмосфериков охватывает диапазон поверхностных и пространственных волн (613÷2091 Гц).

По результату воздействия на среду распространения поля атмосфериков (нижняя граница волновода Земля-ионосфера) его можно разделить на два последовательных этапа:

а) на среду распространения поверхностных волн  $\Delta$ F1 =  $613 \div 1050$  Гц во временном интервале:  $\Delta$ t1 = (2023.02.05, 22:38 ... 2023.02.05, 23:59) = 1 час 21 мин, характеризуется увеличением постоянной времени интегрирования сигнала;

б) на среду распространения пространственных волн  $\Delta F2=1204\div2091$   $\Gamma$ ц во временном интервале:  $\Delta t2=(2023.02.05,23:59-2023.02.06,01:29)=1$  час 30 мин, характеризуется изменением условий резонанса, что выражено вариацией критической частоты волновода:  $F_{\rm KP}\approx \approx 1204\div1500$   $\Gamma$ ц (рис. 4 в).

Основные характеристики указанного временного фрагмента АЧХ п. а.:

- а) частотный диапазон:  $\Delta F = (613 \ \Gamma \text{ц} \div 2091) \ \Gamma \text{ц};$
- б) длительность ионосферного возмущения:

 $\Delta T_{\text{ив}} = \Delta t1 + \Delta t2 = (2023.02.06, 01:29 - 2023.02.05, 22:38) = 2$  часа 51 мин;

в) время задержки между началом возмущения и землетрясением  $\Delta T_{_{3AД}} = \Delta T_{_{ИВ}} = 2$  часа 51 мин.

Таблица 2. Время и координаты очагов землетрясений «quakes0–2», обс. ПГИ Баренцбург (2023.02.05–2023.02.06)

00:16 - 1,52 - 68/20	00:19 - 1,45 - 64/20	00:31 - 1,34 - 71/23	01:19 - 1,28 - 84/02
01:22 - 2,17 - 58/07	04:06 - 2,1 - 67/20	05:28 - 2,31 - 67/30	06:00 - 1,26 - 62/17
06:57 - 1,51 - 62/16	07:35 - 1,53 - 73/21	07:55 - 1,52 - 68/18	08:07 - 2,35 - 60/09
08:18 -1,30 - 68/21	09:28 - 1,35 - 68/21	10:45 - 1,5 - 68/21	11:37 - 2,2 - 77/17
14:18 - 2,8 - 80/20	15:06 - 1,22 - 60/16	15:40 - 1,78 - 58/16	15:44 – 1,38 – 56/11
16:05 - 1,81 - 56/10	16:07 - 2,7 - 49/06	20:02 - 1,56 - 72/28	20:23 - 1,49 - 67/22
21:20 - 1,43 - 77/12	21:55 - 1,32 - 76/17	22:10 - 1,51 - 81/2	22:46 - 2,6 - 84/13
22:58 – 2,35 – 62/06			
	2023	3-02-06	
00:17 - 1,53 - 67/21	00:22 - 1,26 - 68/02	01:01 - 1,38 - 68/21	01:29 - 5,3 - 49/20
01:29 - 4,0 - 55/23	01:30 - 4,92 - 54/24	01:31 - 5,78 - 52/29	01:31 - 4,9 - 54/23
01:32 - 4,3 - 51/28	01:32 - 2,8 - 59/15	01:37 - 4,02 - 50/24	01:37 - 3,9 - 57/17

```
01.44 - 3.1 - 59/14
01:38 - 3,5 - 58/18
                        01:39 - 5,1 - 52/28
                                               01:42 - 4,90 - 52/29
                                                                      06.41 - 2.7 - 51/23
02:35 - 1,42 - 78/08
                        03:35 - 2,3 - 52/27
                                               05:17 - 1,23 - 68/21
                                                                       07:56 - 3,39 - 50/10
06:47 - 1.86 - 67/20
                        07.01 - 3.0 - 48/21
                                               07.45 - 1.69 - 63/-2
                                                                       08:20 - 2.34 - 55/21
07:58 - 1.67 - 62/06
                        08:02 - 1.34 - 63/07
                                               08.15 - 2.96 - 49/23
                                                                       10:37 - 4,1 - 53/18
10:00 - 1,27 - 68/24
                        10:32 - 5,7 - 49/28
                                               10:35 - 5,4 - 53/29
                                                                       10:41 - 5.5 - 54/30
10:37 - 5,7 - 52/26
                        10:38 - 4,99 - 48/16
                                               10:39 - 5,7 - 49/24
                                                                       10:49 - 4,1 - 55/17
10:42 - 5.1 - 52/17
                        10:43 - 4.1 - 50/20
                                                10:47 - 4.9 - 53/20
                                                                       11:30 - 1,41 - 63/28
10:53 - 1.57 - 60/24
                        11:23 - 1.6 - 59/21
                                               11:25 - 1.74 - 61/25
                                                                       13:20 - 1.93 - 60/15
 12:17 - 2,4 - 60/0
                        12:59 - 1,76 - 63/24
                                               13:00 - 1,7 - 60/11
                                                                      16:47 - 1,97 - 84/14
 13:30 - 1.43 - 57/14
                       16:21 - 2.2 - 61/29
                                               16:25 - 2,41 - 78/16
 16:52 - 2.51 - 89/-1
                       17:34 - 1.16 - 68/21
                                              23:04 - 1.32 - 67/21
```

43

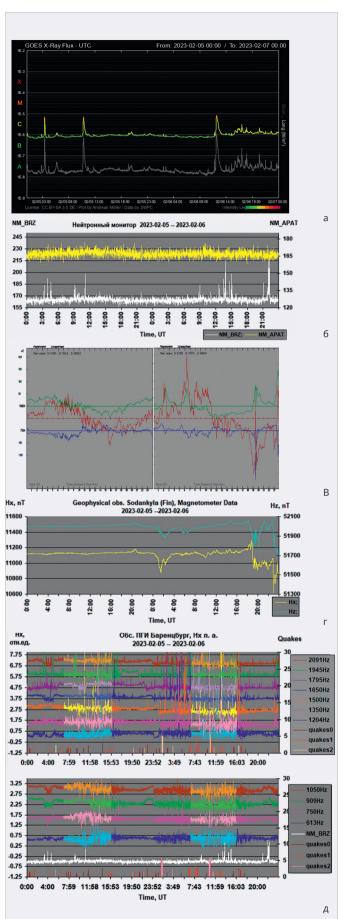
Таблица 3. Время и координаты очагов землетрясений «quakes0–2», обс. ПГИ Баренцбург (2021.12.23–2021.12.24)

00:19 - 2.41 - 67/13	00:23 - 2.04 - 66/18	00:30 - 2.08 - 67/27	02:08 - 1.84 - 60/25
02:41 – 1,08 –77/18	02:48 – 1,29 – 61/25	05:40 - 1,62 - 78/16 06:39 - 1.08 - 68/21	06:04 – 2,26 – 62/2,5 07:45 – 1.04 – 63/28
06:16 - 1,08 - 68/18	06:30 – 1,45 – 62/10	08:17 - 1,81 - 68/17	08:54 - 1,2 - 63/27
07:52 – 1,89 – 58/23	08:14 - 1,07 - 63/24	09:55 – 3,36 – 67/03	10:08 – 2,38 – 67/27
09:13 - 1,7 - 68/21	09:32 – 1,90 – 59/28	'	'
10:09 - 2,0 - 72/07	10:44 – 1,86 – 60/15	10:48 – 1,95 – 66/20	10:55 - 1,48 - 77/16
11:06 – 1,1 – 60/11	11:15 – 1,8 – 67/16	11:34 – 1,04 – 61/29	11:36 – 1,97 – 68/32
11:46 – 1,33 – 70/03	12:15 – 1,49 – 61/22	12:18 -1,42 - 71/03	12:22 - 1,46 - 69/18
12:54 – 1,29 – 60/29	13:18 – 1,47 – 61/29	14:07 – 1,16 – 80/10	14:24 – 1,23 – 68/21
15:00 – 2,03 – 67/21	15:51 – 1,70 – 58/25	16:17 – 1,59 – 68/21	17:20 - 2,12 - 68/21
18:00 - 1,44 - 67/22	18:24 - 1,84 - 68/17	18:50 – 1,13 – 57/08	18:59 – 1,16 – 80/13
19:36 – 2,54 – 71/25	20:45 - 1,10 - 67/20	20:53 – 1,47 – 68/21	21:22 – 1,01 – 77/15
23:12 – 1,36 – 66/21	23:51 – 1,01 – 67/19		
	24.12.	2021 г.	
00:16 - 1,33 - 68/21	00:40 - 3,34 - 62/12	00:42 - 2,4 - 63/13	00:47 - 1,67 - 68/21
01:44 - 2,12 - 78/09	02:53 - 1,3 - 76/11	02:57 – 2,45 – 68/11	03:32 – 1,54 – 79/03
04:50 - 1,07 - 80/03	05:19 - 1,16 - 68/21	05:26 – 2,09 – 57/30	06:00 – 1,65 – 68/21
06:14 - 1,78 - 67/22	06:17 – 1,81 – 58/28	08:22 - 2,04 - 68/21	09:30 – 2,14 – 61/30
09:45 - 1,21 - 61/29	09:47 - 1,38 - 64/08	10:08 – 1,84 – 70/30	10:09 – 1,81 – 65/31
10:18 - 1,85 - 63/-2	11:04 – 2,45 – 67/25	11:09 – 1,43 – 81/13	11:38 – 2,42 – 78/11
12:10 - 1,58 - 75/16	12:44 – 1,57 – 60/28	12:47 – 1,25 – 80/13	12:58 – 1,34 – 67/20
13:22 – 1,38 – 62/07	13:42 - 1,75 - 79/09	13:53 – 1,16 – 81/13	13:54 – 1,36 – 69/29
	15:45 - 1,13 - 80/12	16:39 – 1,55 – 81/05	17:31 – 2,08 – 70/27
15:02 – 1,62 – 67/21	13.43 - 1, 13 - 60/ 12		
		18:31 – 1,76 – 69/16	19:07 – 1,05 – 57/20
18:10 – 1,44 – 62/06	18:13 – 1,03 – 71/16	18:31 – 1,76 – 69/16 20:39 – 1,0 – 81/06	19:07 – 1,05 – 57/20 20:41 – 1,42 – 67/20
18:10 - 1,44 - 62/06 19:33 - 2,55 - 80/30	<b>18:13 – 1,03 – 71/16</b> 20:38 – 1,11 – 67/19		· ·
18:10 – 1,44 – 62/06	18:13 – 1,03 – 71/16	20:39 - 1,0 - 81/06	20:41 – 1,42 – 67/20

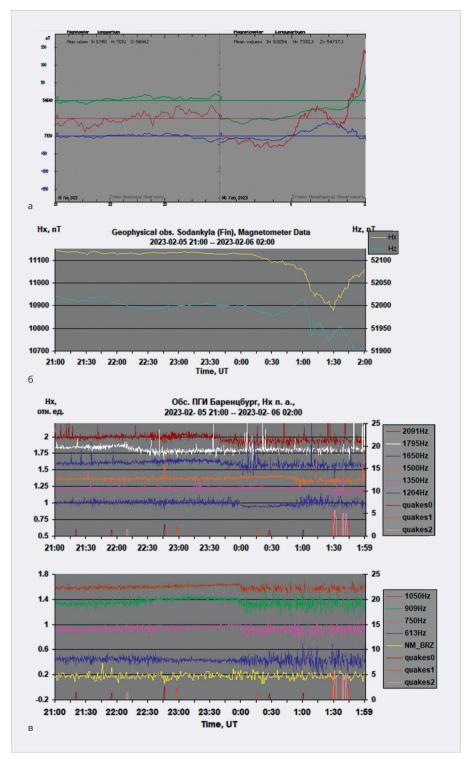
Таблица 4. Время и координаты очагов землетрясений «quakes0–2», обс. ПГИ Ловозеро (2021.12.23–2021.12.24)



Рис. 3. Синхронная запись АЧХ поля атмосфериков (обс. ПГИ Баренцбург, 78.08°N,14.2°E) и гелиогеофизических факторов (2023-02-05 – 2023-02-06): а) характеристика солнечной активности X-Ray Flux (GOES (https://plot.polarlichtvorhersage.de/goes/2023-02-05\_000000\_2023-02-07\_000000.png); б) вариации космических лучей, нейтронный монитор [Апатиты (67.57°N, 33.39°E), обс. ПГИ



Баренцбург (78.06°N, 14.22°E)] (http://pgia.ru/cosmicray); в) магнитограмма магнитного поля Земли [oбc. Longyearbyen (78° 12′N, 15° 32′E)] (http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/plotgeodata.cgi?/) г) магнитограммы магнитного поля Земли Нх, Нх [oбc. Sodankyla (67° 22′N, 26° 38′E)] (https://www.sgo.fi/pub\_mag/Data/SOD\_MagData/SOD\_2023/2023\_02/F\_230205.MIN) д) синхронная запись АЧХ Нх-компоненты п. а., нейтронного монитора NM (BRZ) и сейсмической активности «quakes0-2» (https://www.norsar.no/extranet/bulletins/)



Puc. 4. Синхронная запись AЧX поля атмосфериков (обс. ПГИ Баренцбург, 78,08°N, 14,2°E) и гелиогеофизических факторов (2023.02.05, 21:00 – 2023.02.06, 02:00): а) магнитограмма магнитного поля Земли [обс. Longyearbyen (78°12′N, 15°32′E)] ((http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/plotgeodata.cgi?/)); б) магнитограммы магнитного поля Земли Hx, Hz [обс. Sodankyla (67°22′N, 26°38′E)] ((https://www.sgo.fi/pub\_mag/Data/SOD\_MagData/); в) синхронная запись АЧХ Нх-компоненты п. а., нейтронного монитора NM (BRZ) и «сейсмической активности» «quakes0–2» (https://www.norsar.no/extranet/bulletins/)

## 3. Обс. ПГИ Баренцбург, Ловозеро (2021.12.23–2021.12.24)

В данном разделе рассмотрены характеристики поля атмосфериков, одновременно зарегистрированных на двух разнесённых по широте обсерватори-

ях Баренцбург и Ловозеро при одинаковых геофизических условиях, включая и сейсмическую активность.

На рис. 5 представлены классические характеристики геофизических явлений (X-Ray Flux, магнитограммы, кос-

мические лучи), которые являются факторами, воздействующими на АЧХ п. а.

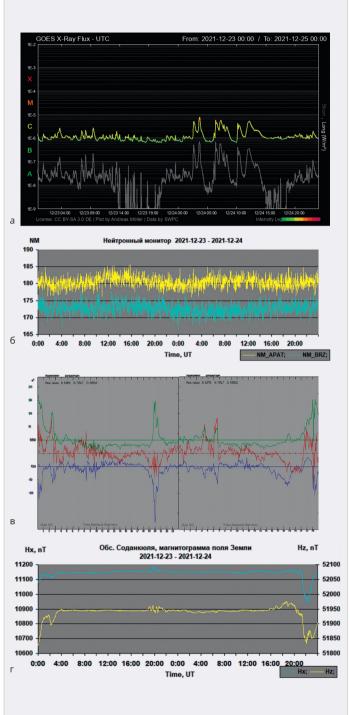
На рис. 6, 7 представлены синхронная запись АЧХ поля атмосфериков и сейсмической активности «quakes0–2» соответственно для обс. ПГИ Баренцбург и Ловозеро.

## 3.1. Обс. ПГИ Баренцбург (78,06°N, 14,22°E) (табл. 3) 3.2. Обс. ПГИ Ловозеро (67,97°N, 35,08°E) (табл. 4)

Приведённые на рис. 6, 7 экспериментальные данные, полученные на разнесённых по широте авроральных обсерваториях, дают возможность провести сравнительный анализ реакции АЧХ п. а. на воздействия геофизических факторов, включая сейсмическую активность, на нижнюю границу волновода Земля – ионосфера.

#### Литература.

- 1. *Ремизов Л.Т.* Естественные радиопомехи. М.: Наука, 1985. С. 34.
- 2. *Альперт Я.Л.* Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М.: Наука, 1972. С. 563.
- 3. *Ратклифф Дж. А.* Введение в физику ионосферы и магнитосферы. М.: Мир, 1975. 296 с.
- Галахов А.А., Ахметов О.И. Комплекс аппаратуры для регистрации импульсной компоненты электромагнитного поля очень низкой частоты // Приборы и техника эксперимента. 2011. № 3. С. 136–142.
- Галахов А.А., Ахметов О.И., Кириллов В.И. Регистрация ортогональных магнитных компонент импульсной составляющей электромагнитного поля ИНЧ-ОНЧ-диапазона на архипелаге Шпицберген // Приборы и техника эксперимента. 2013. № 6. С. 69-73.
- Галахов А.А., Ахметов О.И., Кириллов В.И. Аналоговый анализатор спектра атмосфериков кнч-ончдиапазонов на программируемых интегральных схемах // Приборы и техника эксперимента. 2015. № 1. С. 146–150.
- Галахов А., Косолапенко В., Ларченко А., Пильгаев С. Анализатор спектра поля атмосфериков на реконфигурируемых ПАИС Anadigm // Современная электроника. 2019. № 7. С. 62–66.
- Белоглазов М.И., Кириллов В.И., Пчёлкин В.В., Галахов А.А. Сезонные изменения суточных вариаций ИНЧ-ОНЧатмосфериков, регистрируемых в авроральных широтах // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 54. 2014. № 2. С. 266-271.
- Кириллов В.И., Белоглазов М.И., Пчёлкин В.В., Галахов А.А. Влияние геомагнитных возмущений на сезонную динамику суточного хода атмосферных помех //



Puc. 5. Синхронная запись гелиогеофизических факторов 2021.12.23–2021.12.24: а) характеристика солнечной активности X-Ray Flux (GOES) (https://plot. polarlichtvorhersage.de/goes/); б) вариации космических лучей, нейтронный монитор [Anamumы (67,57°N, 33,39°E), обс. ПГИ Баренцбург (78,06°N, 14,22°E)] ((http://pgia.ru/cosmicray)); в) магнитограмма магнитного поля Земли [обс. Longvearbyen (78°12′N, 15°32′E)] ((http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/plotgeodata.cgi?/)); г) магнитограммы магнитного поля Земли Hx, Hz [обс. Sodankyla (67°22′N, 26°38′E)] (https://www.sgo.fi/pub\_mag/Data/SOD\_MagData/)

Геомагнетизм и аэрономия. Т. 55. 2015. № 2. С. 203–210.

 Галахов А.А., Ахметов О.И., Кириллов В.И. Особенности применения анализатора спектра атмосфериков в кнч-онч-диапазонах для мониторинга состояния волновода Земля – ионосфера // Приборы и техника эксперимента. 2016. № 3. С. 109–113.

 Галахов А.А., Ахметов О.И. Наблюдение спектров атмосфериков в условиях высоких широт во время Форбуш-эффекта // Труды КНЦ РАН. Вып. 2 (Гелиогеофизика вып. 4/2016). 2016. С. 42–45.

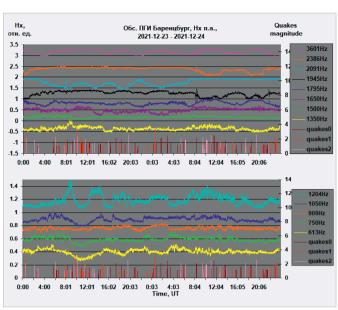


Рис. 6. Синхронная запись АЧХ Нх поля атмосфериков [2021.12.23–2021.12.24, обс. ПГИ Баренцбург] и «сейсмической активности» «quakes0–2»

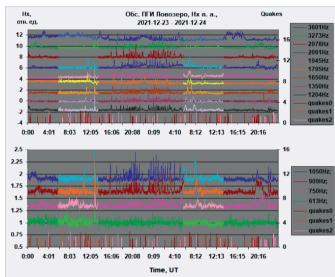


Рис. 7. Синхронная запись АЧХ Нх поля атмосфериков [2021.12.23–2021.12.24, обс. ПГИ Ловозеро] и «сейсмической активности» «quakes0–2»

- 12. Галахов А.А., Ахметов О.И. Поперечный резонанс в высокоширотной части волновода Земля ионосфера во время солнечного затмения 20.03.2015 // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 57. 2017. № 5. С. 664–669.
- Галахов А. Анализатор спектра поля атмосфериков – инструмент изучения гелиогеофизической обстановки // Современная электроника. 2020. № 8. С. 30–34.
- Галахов А. Влияние вспышки на Солнце на АЧХ поля атмосфериков (экспериментальные данные) // Современная электроника. 2021. № 6. С. 64–65.
- 15. Галахов А., Галкин А. Синхронная запись АЧХ поля атмосфериков на разнесённых по широте авроральных обсерваториях (экспериментальные данные) // Современная электроника. 2023. № 2. С. 60–63.